


Formación, evaluación y descripción del híbrido simple de maíz (*Zea mays* L.) amarillo INIA 21

Formation, evaluation and description of single-cross yellow maize (*Zea mays* L.) INIA 21

Yanely ALFARO JIMÉNEZ  y Víctor SEGOVIA SEGOVIA

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIA – CENIAP. Zona universitaria vía El Limón, edificio 8 del CENIAP. Maracay, 2101. Estado Aragua. Venezuela. E-mails: yalfaro@inia.gob.ve y vsegovia@inia.gob.ve.  Autor para correspondencia

Recibido: 06/03/2009

Fin de primer arbitraje: 15/06/2009

Primera revisión recibida: 12/08/2009

Aceptado: 27/08/2009

RESUMEN

En Venezuela se siembra anualmente una superficie aproximada de 600.000 hectáreas de maíz (*Zea mays* L.), de la cual el 90% corresponde a material híbrido. Para el año 2008 el maíz amarillo representó un 42% de esta superficie. La demanda nacional de este tipo de maíz en años anteriores era cubierta con importaciones que conllevaban a una erogación alta de divisas. En el año 2001 se dio un impulso al programa de desarrollo de cultivares de maíz amarillo del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) para la generación de híbridos simples de altos rendimientos y alto contenido de almidón, a objeto de disminuir esas importaciones del rubro. El objetivo de este estudio fue presentar los resultados correspondientes al proceso de obtención y evaluación del híbrido INIA 21, desarrollado entre los años 2001 y 2008 a partir de un cruce dialélico de 10 líneas y sometido a evaluación regional en doce y siete localidades del país durante los años 2005 y 2006, respectivamente. En estas dos pruebas el híbrido rindió en promedio 6.353 kg ha⁻¹, mostrando un rendimiento máximo de 9.398 kg ha⁻¹ en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa. Sus características de calidad de grano, en cuanto al almidón (78%), vitamina A (10.482 UI/g), ácido linoleico (82,32%), proteína cruda (10,78%), grasa cruda (6,48%), entre otros, lo hacen adecuado para la industria de almidones y de alimentos balanceados. Por estas razones, se solicitó ante el Servicio Nacional de Semillas (SENASA) el certificado de elegibilidad del híbrido simple de maíz INIA 21 para la producción y comercialización de semilla certificada.

Palabras clave: Maíz amarillo, cruce dialélico, híbrido simple, calidad de grano.

ABSTRACT

In Venezuela, about 600.000 hectares are planted with maize (*Zea mays* L.) annually; the 90% of this area correspond to hybrid materials. For the year 2008, the yellow maize production represented a 42% of this area. The national demand of this type of maize in previous years was covered with imports, which represented a high payment of foreign currency. In year 2001, an impulse was given to the programme for developing yellow-maize cultivars at the National Institute of Agricultural Research (INIA) to produce single-cross hybrids with both high yield and starch content in order to diminish maize supplies from imports. Between years 2001 and 2008, the process of development and evaluation of the single-cross maize hybrid INIA 21 were carried out. It was obtained from a diallel cross of 10 lines and evaluated in regional trials in twelve and seven locations of the country during the years 2005 and 2006, respectively. In these tests, the hybrid yielded 6.353 kg ha⁻¹, in average, showing its best performance at the location of Agua Blanca, Portuguesa state, with 9.398 kg ha⁻¹ of yield. The characteristics of grain quality, such as starch content (78%), vitamin A (10.482 UI/g), linoleic acid (82,32%), crude protein (10,78%) and crude fat (6,48%), make this hybrid suitable for both starch and balanced feed industry. For all these reasons, the certificate of release of the single-cross maize hybrid INIA 21 was solicited at the National Seed Service (SENASA) for the multiplication and further distribution of certified seed.

Key words: Yellow maize, diallel cross, single-cross, grain quality.

INTRODUCCIÓN

Un 90% de la producción nacional de maíz proviene de materiales híbridos, por lo que casi toda la semilla certificada y fiscalizada de maíz disponible en el mercado corresponde a este tipo de material.

Hasta finales de la década pasada la mayoría de estos híbridos se originaban de cruces dobles, los cuales tienen cuatro líneas endogámicas paternas; los mismos se han venido sustituyendo con híbridos provenientes del cruce de tres líneas paternas (Bejarano, 2003). Más recientemente, se inició la

producción de híbridos simples, resultantes del cruce de dos líneas endogámicas. El uso directo de híbridos simples en la producción ha estado limitado por el bajo rendimiento de las líneas endogámicas sobre las que se obtiene la semilla (Bejarano, 2003).

A inicios de la década actual, el maíz amarillo en Venezuela sólo representaba el 10% de la producción nacional, con una adopción lenta y limitada del material mejorado de grano amarillo, debido básicamente a la política de precios y baja competitividad del maíz nacional en relación al maíz importado (Alfaro *et al.*, 2004). Esta producción nacional no era suficiente para cubrir la demanda de la industria de alimentos balanceados para animales, que formula raciones utilizando el maíz amarillo como fuente energética y de sustancias como la vitamina "A", beta caroteno y xantofilas. Por otro lado, la industria de almidones, que se basa en el esquema de molienda húmeda, utiliza el maíz amarillo dentado tipo 2 importado desde USA (USA N° 2), el cual tiene un contenido de almidón entre 61 y 78%. El estado venezolano desarrolló una política agrícola tendiente a disminuir las importaciones de maíz amarillo y en consecuencia, en el período 2007-2008, la producción de maíz amarillo se incrementó hasta un 42% del total de la producción nacional, según cifras oficiales del MAT. No obstante, este maíz corresponde al tipo de grano duro y semi duro y no ha sido mejorado considerando el contenido de almidón como criterio de selección (Alfaro y Segovia, 2008, Alfaro *et al.*, 2004).

Entre los años 2000 y 2001, Venezuela importó en promedio 1.107.346 t de maíz amarillo, lo cual representó una erogación de divisas por el orden de US \$ 123.296.500 (FEDEAGRO, 2007). Para el año 2001, el precio del maíz importado tipo 2 fue de Bs. 89.375 por tonelada, incluyendo la nacionalización, mientras que el maíz producido en Venezuela fue comprado por la agroindustria a Bs. 175.000 por tonelada (Alfaro *et al.*, 2004). Para el año 2003 el precio del maíz importado se ubicó en Bs. 190.672 la tonelada, mientras que la producción de maíz nacional tuvo un precio de Bs. 300.000 la tonelada (Alfaro y Segovia, 2008). Esto significa que hay que producir a niveles altos de eficiencia para poder compensar el diferencial de precios, dado los subsidios en la producción de maíz amarillo importado de USA. Es por ello, que el INIA-CENIAP inició un proyecto-convenio en Julio del 2001 con la industria de molienda húmeda (INDELMA C.A.), a los fines de desarrollar híbridos

simples de maíz amarillo dentado, con rendimientos experimentales cercanos a los 10.000 kg ha⁻¹ y contenidos de almidón iguales o mayores a 72%, para ser producidos en las condiciones agroecológicas de Venezuela con niveles de alta tecnología (Alfaro *et al.*, 2004). Este tipo de maíz es requerido por la agroindustria que procesa el maíz en molienda húmeda, el cual posee características que lo distinguen de los otros maíces que se comercializan en el país.

Bejarano (2003) indicó que el rendimiento de maíz se podría incrementar utilizando híbridos simples mediante el desarrollo de líneas endogámicas más vigorosas y productivas. No obstante, se debe tener en cuenta que la producción de semilla híbrida es más costosa que la multiplicación de la línea pura o de cultivares de polinización abierta. Por lo tanto, el comportamiento de un híbrido debe ser lo suficientemente superior al de otros tipos de cultivares disponibles del cultivo, para que justifique el costo de producción de la semilla híbrida (Ferh, 1993). Adicional a ello, para su uso en la producción comercial tiene que haber disponibles cantidades equilibradas de semilla de las líneas con que se producen los híbridos respectivos, de lo contrario se paralizaría el programa de producción de semilla certificada.

Para la formación de híbridos competitivos a nivel comercial, Sierra-Macías *et al.* (2008) enfatizan sobre la necesidad de identificar líneas progenitoras sobresalientes, con base en sus efectos de aptitud combinatoria general y específica, su comportamiento *per se*, adaptación y producción de semilla. Generalmente se emplean cruzamientos dialélicos completos o parciales para la evaluación de la heterosis o vigor híbrido, cuyos valores siempre son dependientes del grupo de progenitores que participan en el cruzamiento dialélico (Paterniani, 2000). En plantas alógamas como el maíz, la endogamia conduce a una disminución del vigor; como consecuencia, en cruces entre progenitores endogámicos la heterosis tiende a ser bastante acentuada (Paterniani, 2000).

Se ha encontrado que la magnitud de la heterosis en maíz para rendimiento de grano y sus componentes es más alta cuando la divergencia genética de los padres es moderada o intermedia (Alfaro, 1991), lo cual es tomado en cuenta en la selección de los progenitores para la hibridación y se fundamenta en el principio de diferencias en las

frecuencias génicas entre las poblaciones cruzadas (Falconer, 1986). Sobre esta base, durante la conducción de diversos tipos de ensayos internacionales provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por el sector oficial en Venezuela, se ha identificado germoplasma con buenas características y adaptación a nuestras condiciones, con el interés de aumentar la variabilidad genética y posibilitar mayores progresos en el programa de mejoramiento genético del maíz (San Vicente, 2000). Malacarne y San Vicente (2003) señalan que para conocer la utilidad en programas de hibridación en Venezuela de las líneas derivadas del germoplasma mejorado por el CIMMYT es necesario determinar el comportamiento de las mismas en cruzamientos con líneas élitales locales.

En la presente década el enfoque principal del mejoramiento genético de maíz amarillo en el sector oficial ha sido hacia la producción de híbridos simples, buscando el aprovechamiento de la máxima expresión de heterosis en los mismos para tratar de compensar con mayor rendimiento el diferencial de precios entre el maíz nacional y el importado (Alfaro y Segovia, 2007). Este nuevo esquema tecnológico, basado en la producción de este tipo de híbridos ha contemplado, además de los caracteres de interés agronómico comúnmente evaluados en el maíz, la evaluación de la composición química y sanidad del grano, la generación de índices agroclimáticos en estos cultivares, la selección de fincas de experimentación representativas para la producción de maíz amarillo y la evaluación de las líneas parentales para la producción de semilla (Alfaro y Segovia, 2007). En consecuencia, el objetivo principal del programa es desarrollar híbridos simples de maíz amarillo con características adecuadas para molienda húmeda y elaboración de alimentos balanceados, con miras a disminuir las importaciones del rubro. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados correspondientes a la formación, evaluación y descripción del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21, cuya elegibilidad para la comercialización de semilla certificada fue otorgada por el Servicio Nacional de Semillas (SENASA) en el año 2008.

MATERIALES Y MÉTODOS

El híbrido de maíz INIA 21 es un cultivar de cruza simple de grano amarillo semi dentado, constituido por las dos líneas siguientes:

Línea A (madre): 80-Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-1
Línea B (padre): CML-287

La línea A (madre) proviene de la variedad Suwan 1, de grano amarillo semi cristalino, introducida desde Tailandia e incorporada al programa de mejoramiento genético de maíz del INIA (antes FONAIAP), por su alta tolerancia a la enfermedad conocida como mildew lanoso o falsa punta loca, causada por el hongo *Peronosclerospora sorghi*. Esta línea fue obtenida mediante autofecundaciones realizadas a una selección de familias de hermanos completos producto de la selección recurrente aplicada a la variedad Suwan 1 (Bejarano, 2003).

La línea B (padre) proviene del programa de maíces tropicales amarillos del CIMMYT, entregada al INIA bajo el esquema de germoplasma auspiciado por la FAO y con un contrato de transferencia de materiales (Material Agreement Transference), de acuerdo al tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura, art. 4, 11, 12.4 y 12.5 (FAO, 2001).

Estas líneas intervinieron en un cruzamiento dialélico de 10 líneas, realizado en el año 2003 en el campo experimental del INIA-CENIAP. Los cruces donde se obtuvo suficiente semilla fueron sembrados el mismo año en ensayos de rendimiento para evaluar la aptitud combinatoria general y específica de las líneas involucradas en dichos cruces.

Los 15 mejores híbridos seleccionados fueron evaluados junto con un testigo comercial (FONAIAP 1) en el año 2004 en los estados Aragua y Yaracuy, bajo un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo conformada por dos hileras de 5 m de largo, separadas a 0,80 m y una planta cada 20 cm en la hilera. Uno de estos híbridos fue el proveniente del cruce (80-Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-1 x CML-287), que en estas pruebas preliminares recibió el nombre de INIA exp. 21. Las variables evaluadas fueron: días al 50% de floración masculina y femenina, altura de la planta y de la mazorca, número de mazorcas totales, longitud y diámetro de mazorcas, número de hileras, número de granos por hilera, dureza de grano, peso de grano y contenido de humedad del grano, para determinar el rendimiento de grano en kg ha⁻¹ ajustado al 12% de humedad. Se tomaron también cuatro muestras de 5 kg de grano de cada cultivar y se formó una muestra compuesta para

determinar la composición química del grano, incluyendo el porcentaje de almidón.

Como resultado de las evaluaciones preliminares, el INIA 21 fue incluido en los ensayos regionales uniformes (ERUs) del SENASEM durante los años 2005 y 2006. Para el año 2005, los cultivares fueron evaluados en 12 localidades de los estados Aragua, Guárico, Portuguesa, Barinas, Yaracuy y Monagas. En el año 2006 fueron evaluados en siete localidades de los estados Aragua, Guárico, Portuguesa, Barinas y Yaracuy. En ambos casos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental estuvo formada por dos surcos de 5 m, separados a 0,80 m; la densidad de siembra fue de 62.500 plantas por hectárea.

Durante el desarrollo del cultivo en los ERUs las variables morfológicas y el rendimiento de grano y sus componentes fueron evaluados siguiendo los protocolos desarrollados por el SENASEM para estos ensayos. Adicionalmente, se tomaron también cuatro muestras de granos y se formó una muestra compuesta para determinar la composición química del grano, incluyendo: humedad, ceniza, proteína cruda, nitrógeno, grasa cruda, fibra cruda, fósforo, fibra detergente neutra, almidón y ácido linoleico C18:2, expresados en porcentaje; igualmente se determinó el contenido de calcio expresado en partes por millón y de vitamina A (betacaroteno) expresado en unidades internacionales.

Para evaluar el comportamiento del híbrido INIA 21 a escala semi comercial, se establecieron parcelas de aproximadamente una hectárea en el año

2007 en el Campo Experimental del CENIAP, estado Aragua, en tres fechas de siembra correspondientes a los meses de mayo, junio y julio, respectivamente. Por otro lado, durante los años 2005 y 2006 fueron establecidos en el campo experimental del CENIAP en distintas fechas de siembra, cuatro ensayos de evaluación fenológica de las líneas progenitoras del híbrido INIA 21, a objeto de establecer el manejo y época más apropiada para la producción de semilla híbrida. La siembra de los experimentos se realizó a intervalos de 25 días en el Campo Experimental del CENIAP. La parcela experimental estuvo formada por seis hileras de 5 m de largo, separadas a 0,75 m y 0,20 m entre plantas y el diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones.

Para cada fecha de siembra se hizo una evaluación del inicio, el 50% y el 100% de la floración, tanto masculina como femenina. Con los datos registrados se determinó la sincronía floral entre las líneas A y B del híbrido INIA 21, además de evaluar caracteres morfométricos que permitirían describir las líneas y facilitar la producción de semilla híbrida. En el cuadro 1 se resume el proceso de obtención de este híbrido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 2 se presentan los valores promedios de caracteres de la planta del híbrido experimental INIA 21 y del testigo comercial FONAIAP 1, evaluados en los estados Aragua y Yaracuy en el año 2004. El híbrido experimental INIA 21 tuvo un comportamiento muy similar en las dos localidades y con el testigo en cuanto a los días a floración masculina y femenina. En general, los

Cuadro 1. Esquema del proceso de obtención del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21.

Año	Descripción del procedimiento
2001-2002	Aumento de endogamia en líneas élite de maíz amarillo.
2003	Formación y evaluación de cruzamientos dialélicos (10 x 10) y evaluación de la aptitud combinatoria general y específica de las líneas involucradas.
2004	Evaluación preliminar y selección de híbridos simples experimentales en los estados Aragua y Yaracuy.
2005	Primer año de evaluación en los ensayos regionales uniformes (ERUs) del Servicio Nacional de Semillas (SENASEM)
2006	Segundo año de evaluación en los ERUs del SENASEM.
2005-2006	Evaluación de líneas progenitoras en diferentes fechas de siembra para producción de semilla; caracterización morfológica y composición química del grano del híbrido INIA 21.
2007-2008	Evaluación del híbrido en parcelas semi comerciales en el estado Aragua y producción de semilla genética-fundación del híbrido INIA 21 y sus líneas progenitoras.
2008	Solicitud de elegibilidad ante el SENASEM y liberación oficial del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21.

valores de altura de planta y de mazorca fueron más bajos en el ensayo de Yaracuy y el híbrido INIA 21 presentó valores ligeramente más altos que la media general de los dos ensayos. Estos valores se corresponden con los observados en los híbridos comercializados actualmente en el país, de acuerdo a los resultados presentados en los ERUs del SENASEM.

Las evaluaciones del rendimiento de grano y sus componentes son mostrados en el cuadro 3, como promedio de las dos localidades. El híbrido INIA 21 tuvo un rendimiento experimental promedio de 5.209 kg ha⁻¹, superior al testigo y al promedio general del ensayo. Estos valores de rendimiento se presentaron bajos en relación a lo esperado debido a problemas en el establecimiento de la población (número de plantas emergidas y número de plantas a cosecha). Rengifo (2007) encontró variación en rendimiento de grano entre 4.465 y 6.251 kg ha⁻¹, donde también intervinieron las líneas progenitoras del INIA 21 y destaca el comportamiento diferencial entre los híbridos debido a su divergencia genética, manifestada en la expresión de la heterosis. El valor de dureza del grano correspondió al tipo semi

dentado, mientras que el contenido de almidón fue 73%, por lo que fue incluido en los ensayos regionales uniformes (ERUs) del SENASEM en el año 2005. Kang (1998) resalta la importancia de los ensayos regionales para evaluar la estabilidad de materiales genéticos que se encuentran en las últimas etapas de un programa de mejoramiento.

En los ERUs del SENASEM del año 2005 el híbrido INIA 21 fue evaluado en 12 localidades del país, junto con 25 híbridos procedentes del sector oficial y privado. El rendimiento promedio del INIA 21 fue de 6.050 kg ha⁻¹, valor éste que resultó 1% superior a la media general del ensayo. El rendimiento más alto de este híbrido (8.223 kg ha⁻¹) fue observado en la localidad Sabana del Medio, estado Portuguesa y el más bajo (3.555 kg ha⁻¹) en Las Guacamayas, estado Guárico (Cuadro 4). Matzavracó (2006) señala que un híbrido puede mostrar un comportamiento diferencial dependiendo de la localidad de evaluación y es por ello que pueden hacerse recomendaciones diferentes para cada zona de producción. Considerando el promedio por estado, el mejor comportamiento del híbrido INIA 21 fue observado en el estado Portuguesa con 7.282 kg ha⁻¹.

Cuadro 2. Evaluación preliminar de caracteres de la planta del híbrido experimental de maíz amarillo INIA 21, en dos localidades de los estados Aragua y Yaracuy, Venezuela. Año 2004.

Híbrido	Aragua				Yaracuy			
	Días al 50% de floración		Altura (cm)		Días al 50% de floración		Altura (cm)	
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca
INIA EXP. 21	58	58	232	114	58	58	210	76
FONAIAP 1 (T)	56	56	215	114	55	57	203	74
Media general	58	59	221	111	57	58	198	69
LSD (0,05)	2,47	2,39	21,05	13,20	2,70	2,35	13,70	12,98
CV (%)	2,33	1,80	4,37	6,92	2,85	2,42	4,15	11,33

INIA Experimental 21; FONAIAP 1: testigo comercial. CV: Coeficiente de variación

Cuadro 3. Valores promedios del rendimiento de grano y sus componentes del híbrido experimental de maíz amarillo INIA 21, obtenidos en la evaluación preliminar realizada en dos localidades de los estados Aragua y Yaracuy, Venezuela. Año 2004.

Híbrido	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Número de hileras	Número de granos por hilera	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)	Dureza del grano (1-5)	Almidón (%)
INIA EXP. 21	15,84	4,80	14	34	5.209	2,75	73,11
FONAIAP 1 (T)	16,33	4,95	16	32	2.288	2,62	72,69
Media general	16,63	4,78	14	34	4.944	2,70	71,12
LSD (0,05)	0,84	0,17	0,72	2,34	1.465	1,26	-
CV (%)	4,88	3,83	3,22	4,84	15,22	23,73	-

INIA Experimental 21; FONAIAP 1: testigo comercial. Rendimiento de grano corregido al 12% de humedad
Dureza del grano: 1 (duro), 2 (semiduro), 3 (semidentado), 4 (dentado), 5 (harinoso). CV: Coeficiente de variación

Con estos resultados, este híbrido aprueba el primer año de evaluación en los ERUs, de acuerdo al protocolo del SENASEM para estos ensayos y se autoriza la producción de un máximo de 25.000 kg semilla promocional del híbrido.

En cinco de las localidades de evaluación se tomó una muestra de grano para el análisis químico del mismo. De acuerdo con este análisis (Cuadro 5), el contenido de almidón del grano fluctuó entre 79,50% y 84,76%, para un promedio de 82,67%. Méndez (2006), reportó un valor de 73,55% de contenido de almidón en el mismo híbrido, como promedio de la evaluación en tres localidades. El mismo autor encontró valores positivos de heterosis (10,36%) y heterobeltiosis (6,47%) para almidón en el INIA 21. Para la molienda húmeda se requiere un valor igual o mayor a 72% de almidón en el grano de maíz (Alfaro *et al.*, 2004). En promedio, el contenido de proteína fue de 10,78%, 6,48% de grasa cruda y 3,31% de fibra cruda. En los híbridos evaluados por Méndez (2006), el mayor contenido de grasa cruda a

través de localidades fue observado en el INIA 21 (5,41%) y concluye que es factible incrementar los contenidos de almidón y grasa cruda en las F1 mejorando las líneas parentales.

En el cuadro 6 se presentan los resultados para rendimiento de grano del híbrido INIA 21, evaluado junto a 19 híbridos del sector oficial y privado en siete localidades del país en el segundo año de evaluación en los ERUs del SENASEM. En este caso, el híbrido alcanzó un rendimiento experimental máximo de 9.399 kg ha⁻¹ en la localidad de Agua Blanca, estado Portuguesa, mientras que el rendimiento más bajo (4.518 kg ha⁻¹) fue observado en la localidad El Socorro, estado Guárico. El rendimiento promedio del híbrido en las siete localidades de evaluación consideradas en el análisis fue de 6.655 kg ha⁻¹, ubicándose 5% por debajo de la media general del ensayo, lo cual es considerado aceptable para aprobar la evaluación en estos ensayos, por lo que el mismo es elegible a certificación.

Cuadro 4. Valores promedio del rendimiento experimental de grano del híbrido de maíz amarillo INIA 21 evaluado en los Ensayos Regionales Uniformes (ERUs) del Servicio Nacional de Semillas (SENASEM). Venezuela, año 2005.

Híbrido	Aragua		Guárico		Portuguesa			Barinas		Yaracuy		Monagas	Promedio	Relación respecto al Promedio
	CENIAP													
	C2	D2	C	LG	AB	CT	SM	V	PG	Y	M	SB		
INIA-21	6.501	4.986	8.197	3.555	8.086	5.538	8.223	6.725	6.411	4.128	6.565	3.684	6.050	101
Media	6.327	5.353	6.125	6.107	7.740	3.607	8.378	5.874	8.443	3.300	4.751	6.303	6.017	100
CV (%)	13,98	10,51	11,05	14,72	7,91	17,13	5,91	18,73	11,97	18,14	15,63	12,75	12,00	
LSD (5%)	1.452	924	1.113	1.466	1.005	1.014	813	1.651	1.676	982	957	1.297	343	

Localidades: C2 y D2: Lotes de terreno del campo experimental del CENIAP, C: Camilero, LG: Las Guacamaya, AB: Agua Blanca, CT: Colonia Turén, sm: Sabana del Medio, V: Veguitas, PG: Punta Gorda, Y: Yaritagua, M: Mayurupí y SB: Santa Bárbara.

Rendimiento experimental (kg ha⁻¹) corregido al 12% de humedad. CV: Coeficiente de variación

Cuadro 5. Valores promedios del análisis químico del grano del híbrido de maíz amarillo INIA 21, procedentes de cinco localidades de evaluación de los Ensayos Regionales Uniformes del SENASEM. Venezuela, año 2005.

Híbrido	Localidad	Humedad (%)	Ceniza (%)	Proteína Cruda (%)	N (%)	Grasa Cruda (%)	Fibra Cruda (%)	Ca (ppm)	P (%)	FDN con α – amilasa (%)	Almidón (%)	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)
INIA-21	Guárico	11,76	1,42	9,91	1,59	6,09	2,99	0,02	0,34	55,17	83,17	8.197
	Monagas	10,50	1,80	11,82	1,90	6,12	3,22	0,02	0,42	48,56	84,76	3.684
	Portuguesa	11,09	1,44	11,90	1,90	6,92	3,43	0,02	0,30	35,50	83,41	8.086
	Yaracuy	10,09	1,70	10,22	1,64	5,72	3,67	0,03	0,46	16,85	79,50	4.128
	Aragua	11,10	1,75	10,03	1,61	7,53	3,25	0,04	0,42	24,74	82,52	6.501
	Promedio	10,90	1,62	10,78	1,73	6,48	3,31	0,03	0,39	36,16	82,67	6.050

En función de los resultados anteriores, el híbrido INIA 21 fue evaluado en el año 2007 en parcelas semi comerciales en el estado Aragua en tres fechas de siembra. En el cuadro 7 se muestra el rendimiento obtenido en cada una de las parcelas.

En la validación del híbrido en estas parcelas se obtuvieron rendimientos desde 2.653 hasta 8.459 kg ha⁻¹. Estos resultados indican que a medida que nos alejamos de la fecha óptima de siembra en el período lluvioso se corre el riesgo de tener pérdidas en los rendimientos, debido a las condiciones ambientales menos favorables para el desarrollo del cultivo. Igualmente, se puede decir que a nivel semi comercial el híbrido INIA 21 mantuvo el potencial de rendimiento expresado en los ensayos regionales, con lo cual se validan estos resultados. Jiménez y Silva (2008) señalan que la elección de la época de siembra puede provocar modificaciones en la ocurrencia y duración de las diferentes etapas fenológicas de los cultivos y como consecuencia afectar los rendimientos.

Durante los años 2005 y 2006, el híbrido INIA 21 fue caracterizado morfológicamente, de acuerdo al protocolo para los ERUs y a la ficha técnica para la descripción varietal para maíz propuesta por el SENASEM (cuadro 8). Este híbrido fue registrado e inscrito por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) ante el SENASEM en el año 2008, siendo acreditado como elegible para la producción y comercialización de semilla certificada de maíz en Venezuela. Dicho híbrido se caracteriza por tener un rendimiento de 5.970 Kg ha⁻¹, promedio de las evaluaciones en las pruebas preliminares y regionales del SENASEM, una altura de planta y mazorca intermedia con 246 y 132 cm para cada característica, respectivamente, con 55 días a floración masculina y femenina, alcanza la madurez

fisiológica entre 90 y 100 días por lo que la cosecha puede programarse entre los 110 y 120 días. Es tolerante al acame, con buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, siendo tolerante al achaparramiento y la falsa punta loca. La mazorca es cilíndrica con 14 hileras de grano en promedio, el color de grano es amarillo del tipo semidentado.

En cuanto a las características de calidad, el híbrido INIA 21 fue seleccionado principalmente para la molienda húmeda por su alto contenido de almidón (78%); sin embargo, presenta otras características de calidad de grano, como el contenido de grasa cruda (6,48%), proteína (10,78%) y fibra cruda (3,31%), además del contenido de vitamina A (10.483 UI/g) y de ácido linoleico (82%) que lo hacen también adecuado para la elaboración de alimentos balanceados (Malvar *et al.*, 2008; Alfaro *et al.*, 2004).

La descripción morfológica de las líneas progenitoras del híbrido INIA 21 se resumen en el cuadro 9. En el mismo se puede apreciar el mayor vigor de la línea progenitora madre (80-Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-1) en comparación a la línea progenitora padre (CML-287), la misma supera a esta última en todas las variables medidas exceptuando los días a floración, donde la línea hembra es más precoz, con

Cuadro 7. Rendimiento experimental promedio del híbrido de maíz INIA 21 en parcelas semi comerciales establecidas en tres fechas de siembra en el Campo Experimental del CENIAP, Maracay, estado Aragua, Venezuela. Año 2007.

Híbrido	Rendimiento por fecha de siembra			Promedio
	Mayo 2007	Junio 2007	Julio 2007	
INIA 21	8.459	7.667	2.653	6.260

Rendimiento experimental (kg ha⁻¹) corregido al 12% de humedad.

Cuadro 6. Valores promedio del rendimiento experimental de grano del híbrido de maíz amarillo INIA 21 evaluado en los Ensayos Regionales Uniformes (ERUs) del Servicio Nacional de Semillas (SENASEM). Venezuela, año 2006.

Híbrido	Aragua	Barinas	Guárico	Agua Blanca	Portuguesa	Yaracuy	Promedio	Relación respecto al Promedio
	CENIAP	Veguitas	El Socorro		Colonia Turén	Sabana del Medio	Yaritagua	
INIA 21	7.299	7.137	4.518	9.399	6.826	6.881	4.524	95
Promedio	7.161	6.815	4.699	9.290	7.894	7.894	5.441	100
CV (%)	10,13	13,42	11,84	6,38	8,74	14,37	15,28	11,02
LSD (5%)	1.028	1.295	788	839	977	1.210	1.177	391

Rendimiento experimental (kg ha⁻¹) corregido al 12% de humedad. CV: Coeficiente de variación

Las localidades El Playón estado Portuguesa y Santa Bárbara de Monagas, estado Monagas fueron descartadas por presentar coeficientes de variación altos.

una diferencia en promedio de cinco días al 50% de floración femenina con relación a la floración masculina de la línea macho. Jiménez y Silva (2008), también reportaron valores más altos para la mayoría de las variables evaluadas en la línea 80-Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-1 en comparación con otras líneas y lo atribuyeron a su mejor adaptación a las condiciones ambientales locales donde fue desarrollada. No obstante, este mayor vigor manifestado por la línea progenitora hembra respecto al progenitor masculino, también puede estar

determinado por las diferencias en los niveles de endogamia de ambos parentales.

El comportamiento diferencial en la floración entre las líneas progenitoras del híbrido INIA 21 (cuadro 10), indica que en general, habría que sembrar la línea macho cinco días antes que la hembra para garantizar la coincidencia en las floraciones masculina y femenina en cada caso durante la formación del híbrido INIA 21. No obstante, esto puede variar dependiendo de la fecha de siembra. Jiménez y Silva (2008) evaluaron cinco líneas de maíz en diferentes fechas de siembra y evidenciaron el efecto de las mismas en el comportamiento fenológico de las líneas, el cual estuvo influenciado por las variaciones climáticas, además del comportamiento genético *per se* de las líneas. Estos autores resaltan además, el efecto drástico que las condiciones tropicales ejercen sobre la generación de líneas con altos niveles de endogamia, lo cual repercute sobre la producción de semilla, además de la natural depresión por endocria, tal y como ocurre en la línea paterna CML-287; no obstante, esta línea posee una buena aptitud combinatoria general para la formación de híbridos.

Con relación al rendimiento (cuadro 9), la línea madre del híbrido INIA 21 (80-Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-1) tiene buen comportamiento *per se*, lo cual representa una ventaja económica en la producción de semilla certificada. Segovia y Alfaro (2002), señalaron que hoy en día se dispone de la metodología y la logística para desarrollar y evaluar híbridos simples de maíz utilizando líneas con mayor grado de homocigosis, capaces de dar rendimientos adecuados que puedan hacer rentable el negocio de los híbridos simples para el productor de semilla. San Vicente (2007) considera que la evaluación de líneas *per se* debe adoptarse en los programas de mejoramiento de maíz con el objeto de disponer de una caracterización completa de las líneas, incluyendo su potencialidad como hembra o macho en la formación de híbridos. Adicionalmente, la descripción morfológica del híbrido y sus líneas progenitoras benefician tanto al mejorador de plantas como al agricultor y comerciante de semillas. Smith y Smith (1989), puntualizan que la descripción precisa del material genético es imprescindible para la obtención de un producto que reúna un estándar mínimo de calidad y pureza, además que le permite al mejorador de plantas el registro de la propiedad intelectual para la protección varietal de dicho producto.

Cuadro 8. Características biométricas del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21.

Características del cultivar	
Tipo de cultivar	Híbrido simple
Altura de la planta (cm)	246
Vigor de la planta	Muy alto
Número de hojas	14
Diámetro del tallo (mm)	23,8
Porcentaje de acame (%)	7,8
Inflorescencia masculina (días)	55
Inflorescencia femenina (días)	55
Color de la panoja	Amarillo
Forma de la panoja	Cónica
Cantidad de polen	(Primaria)
Altura de la mazorca (cm)	Intermedio
Forma de la mazorca	132
Longitud de la mazorca (cm)	Cilíndrica
Diámetro de la mazorca (mm)	15,8
Peso de la mazorca (g)	48
Número de mazorcas por planta	206
Dureza del grano	1
Color del grano	Semidentado
Número de hileras de granos	Amarillo
Número de granos / hileras	14
Color de la tusa	34
Diámetro de la tusa (mm)	Blanco
Color del pericarpio del grano seco	27
Color del endospermo del grano seco	Incoloro
Días a la cosecha	Amarillo
Densidad de siembra (plantas/ha)	120
Rendimiento (kg/ha)	62.500
Almidón (%) Característica especial	5.970
Vitamina A (Betacaroteno)	77,81
Acido linoleico C18:2	10.482,90 UI/g
	82,32%
	Falsa punta
	loca, roya, tizón
Tolerancia	de la hoja,
	achaparramiento

Cuadro 9. Caracteres biométricos de la planta y de la mazorca de las líneas del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21, promedio de tres ensayos de evaluación en el año 2005.

Líneas Progenitoras	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (cm)	Número de hileras por mazorca	Número de granos por hileras	Diámetro de tusa (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
CML-287 (Línea padre)	152	52	13,30	3,74	12	27	2,70	1.264
80- Suwan 1 FHC 65-4-2-#-#-#-1 (Línea madre)	170	81	14,72	4,34	14	37	2,93	2.752

Cuadro 10. Valores promedios de la floración de las líneas parentales del híbrido simple de maíz amarillo INIA 21, sembradas entre los meses de abril y julio en el C.E.C. CENIAP. Estado Aragua, Venezuela. Año 2005-2006.

Líneas	Flora- ción	Fecha 1 (06-Abr-05)			Fecha 2 (20-Abr-05)			Fecha 3 (09-Jun-05)			Fecha 4 (03-Jul-06)			Promedio		
		IF	50%F	100%F	IF	50%F	100%F	IF	50%F	100%F	IF	50%F	100%F	IF	50%F	100%F
80- Suwan 1 FHC	Masc	50	55	62	50	54	59	55	58	64	52	57	65	52	56	62
65-4-2-#-#-#-1 (Línea madre)	Feme	51	57	63	51	55	62	58	60	67	55	58	69	54	58	65
CML-287	Masc	58	61	65	55	59	64	57	62	68	59	65	73	57	62	68
(Línea padre)	Feme	59	65	71	57	65	67	58	63	70	62	65	73	59	64	70

Masc: Masculina, Feme: Femenina, IF: Días transcurridos desde la siembra hasta que las plantas en la parcela de evaluación inician la floración.

50% F y 100% F: días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% y el 100% de las plantas de la parcela de evaluación están en floración, respectivamente.

CONCLUSIONES

1. En los dos años de evaluación en ensayos regionales y pruebas semi comerciales, el híbrido INIA 21 tuvo rendimientos superiores a los 6.000 kg ha⁻¹, por lo que fue solicitada la elegibilidad para la producción y comercialización de la semilla certificada ante el SENASEM.
2. En las evaluaciones realizadas sobre calidad de grano, el híbrido INIA 21 destaca por su alto contenido de almidón (77,81%), vitamina A (10.482 UI/g), ácido linoleico (82,32%), que lo hacen adecuado para su uso por la industria de almidones y de alimentos balanceados para animales.

LITERATURA CITADA

- Alfaro, Y. 1991. Estudio genético de caracteres fisiotécnicos en líneas y cruza simples de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 226 p.
- Alfaro, Y. y V. Segovia. 2007. Mejoramiento de maíces amarillos. In: ASOPORTUGUESA (Ed.). Memorias del XIII Curso de Producción de Maíz. Araure, estado Portuguesa. Venezuela.
- Alfaro, Y. y V. Segovia. 2008. Mejoramiento de maíces amarillos. In: Cabrera S. (Ed.). Memorias del XIV Curso sobre Producción de Maíz. Capítulo II. Maíz amarillo. Araure, Estado Portuguesa. Venezuela.
- Alfaro, Y.; V. Segovia, M. Mireles, P. Monasterios, G. Alejos y M. Pérez. 2004. El maíz amarillo para la molienda húmeda. CENIAP HOY. N° 6. Septiembre- Diciembre. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy3/articulos/n6/arti/alfaro_y/arti/alfaro_y.htm. Fecha de consulta: 20 de agosto de 2007.
- Bejarano, A. 2003. Descripción y prueba del híbrido simple de maíz amarillo FONAIAP 1. Agronomía Trop. 53 (4): 501-506.

- Confederación Nacional de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2007. Precios internacionales de productos agrícolas. Casos: maíz blanco y amarillo. Disponible en: <http://www.fedeagro.org/preciointer/default.asp>. Fecha de consulta: 16 de julio de 2007.
- Falconer, D. S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. Compañía editorial continental, S. A., México. 383 p.
- Ferh, W. R. 1993. Principles of cultivar development. Theory and technique. Ames. Iowa 50.011 USA. p. 115-119.
- Jiménez, R. y W. Silva. 2008. Evaluación de las características morfológicas, agronómicas y fenológicas de cinco líneas de maíz (*Zea mays* L.) amarillo en cinco fechas de siembra. Tesis de Pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 100 p.
- Kang, M. S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advance in Agronomy* 62: 199-253.
- Malacarne, M. F. y F. San Vicente. 2003. Patrones heteróticos de líneas tropicales blancas de maíz. *Agronomía Trop.* 53 (4): 437-456.
- Malvar, R. A.; P. Revilla, J. Moreno González, A. Butrón, J. Sotelo y A. Ordás. 2008. White maize: genetics of quality and agronomic performance. *Crop Sci.* 48: 1373-1381.
- Matzavracó, K. 2006. Estimación y comparación de parámetros de estabilidad con fines de selección y recomendación en función de los ensayo regionales uniformes de maíz (*Zea mays* L.) del INIA. Tesis de *Magister Scientiarum*. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 189 p.
- Méndez C., D. E. 2006. Evaluación de la calidad del grano de doce (12) genotipos de maíz amarillo (*Zea mays* L.). Tesis de Pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 99 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2001. Tratado internacional sobre recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. Resolución 3/2.001. Roma, Italia.
- Paterniani, 2000. Métodos de mejoramiento genético de poblaciones en maíz. *In*: Fontana H. Y. González C. (Eds.). El maíz en Venezuela. Fundación Polar, Caracas. p. 107-137.
- Rengifo B., J. 2007. Evaluación de los componentes de rendimiento en 48 híbridos de maíz amarillo del INIA-CENIAP. Tesis de pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 77 p.
- San Vicente, F. 2000. EL CIMMYT y la cooperación internacional en el mejoramiento del maíz. *In*: Fontana H., González C. (Eds.). El maíz en Venezuela. Fundación Polar, Caracas. p. 195-205.
- San Vicente, F. 2007. Desafíos y avances en el desarrollo de híbridos simples de maíz en Venezuela. *In*: ASOPORTUGUESA (Ed.). Memorias del XIII Curso sobre Producción de Maíz. Araure, estado Portuguesa. Venezuela. S/N
- Segovia, V. y Y. Alfaro. 2002. Cinco décadas de mejoramiento genético del maíz en el CENIAP. Disponible en: http://www.ceniap.gov.ve/pbd/Congresos/jornadas_de_maiz/6_jornadas/conferencias/vsegovia.htm. Fecha de consulta: 04 de febrero de 2009.
- Servicio Nacional de Semillas (SENASA). 2005. Resultados de los ensayos regionales uniformes de maíz amarillo. Mimeografiado, sin notas editoriales.
- Servicio Nacional de Semillas (SENASA). 2006. Resultados de los ensayos regionales uniformes de maíz amarillo. Mimeografiado, sin notas editoriales.
- Sierra Macías, M.; A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., N. Gómez M., F. Caballero H., S. Barrón F., A. Zambada M. y G. Vázquez C. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 34 (1): 119-122.
- Smith, I. S. C.; and O. S. Smith. 1989. The description and assessment of distance between inbred lines of maize: I. the use of morphological traits as descriptors. *Maydica.* 34: 141-150.